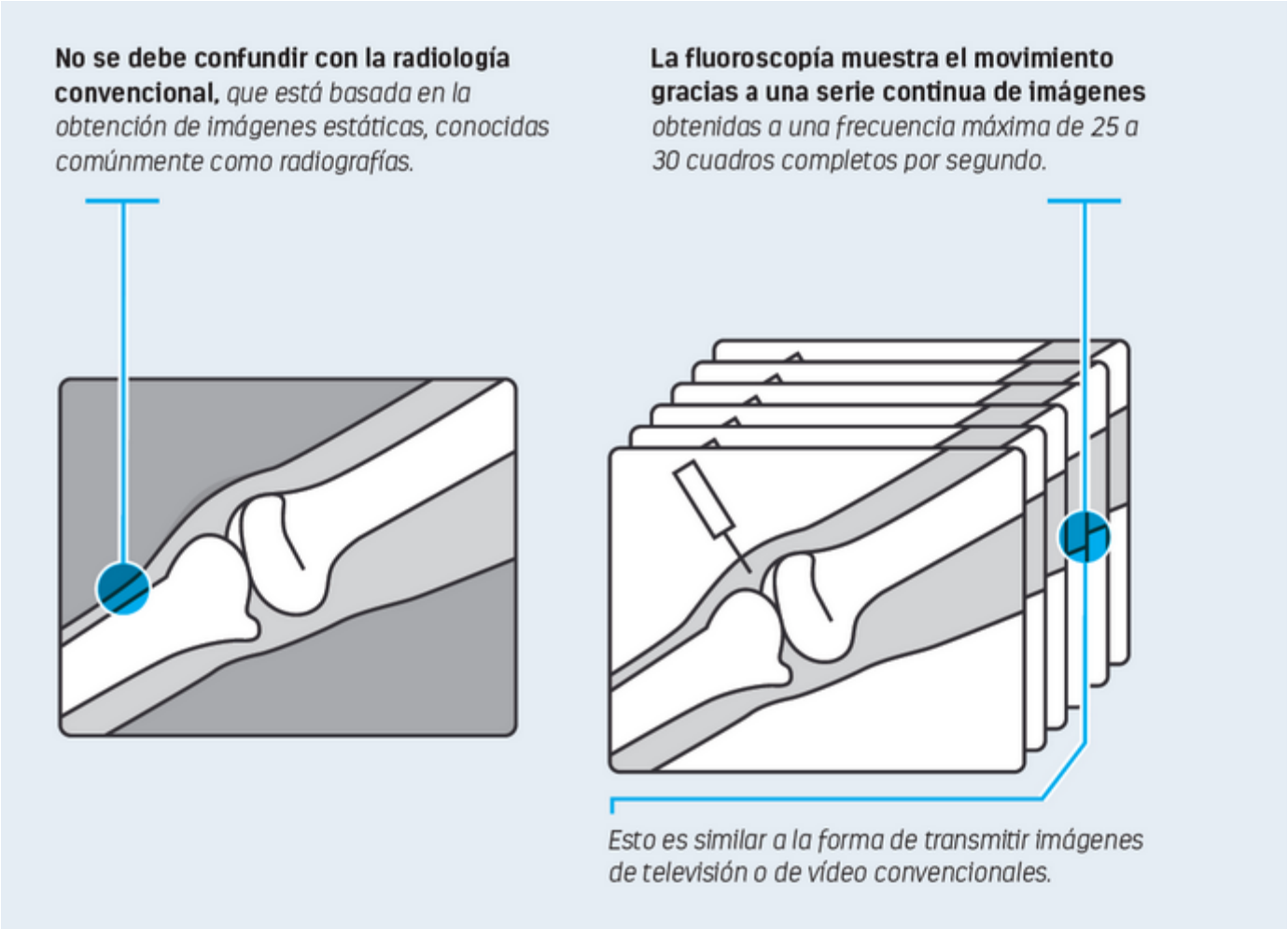
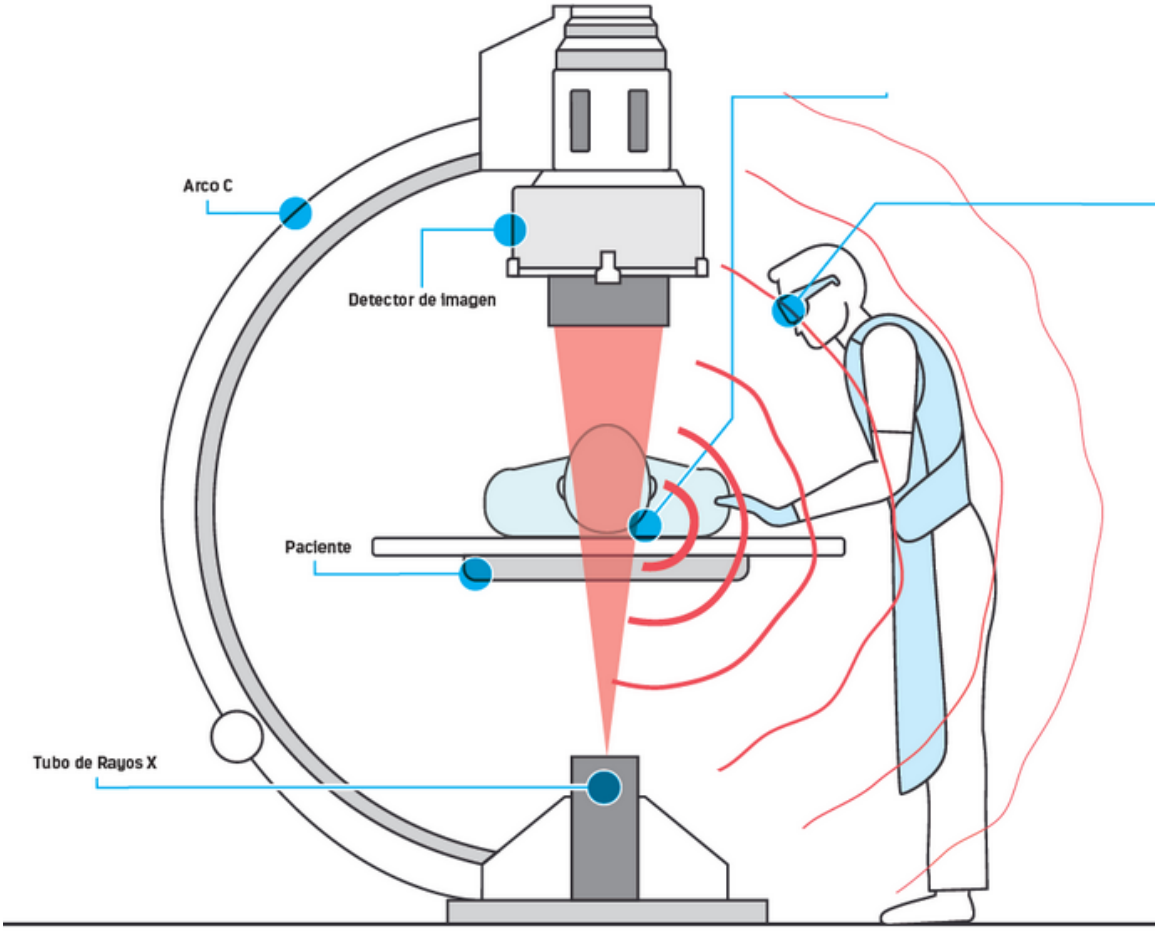
Fluoroscopia

La fluoroscopia es el método de obtención de imágenes de rayos X en tiempo real, considerada como una herramienta muy eficaz para una gran variedad de exámenes diagnósticos e intervenciones en pacientes. No se debe confundir con la radiología convencional, que está basada en la obtención de imágenes estáticas, conocidas comúnmente como radiografías.



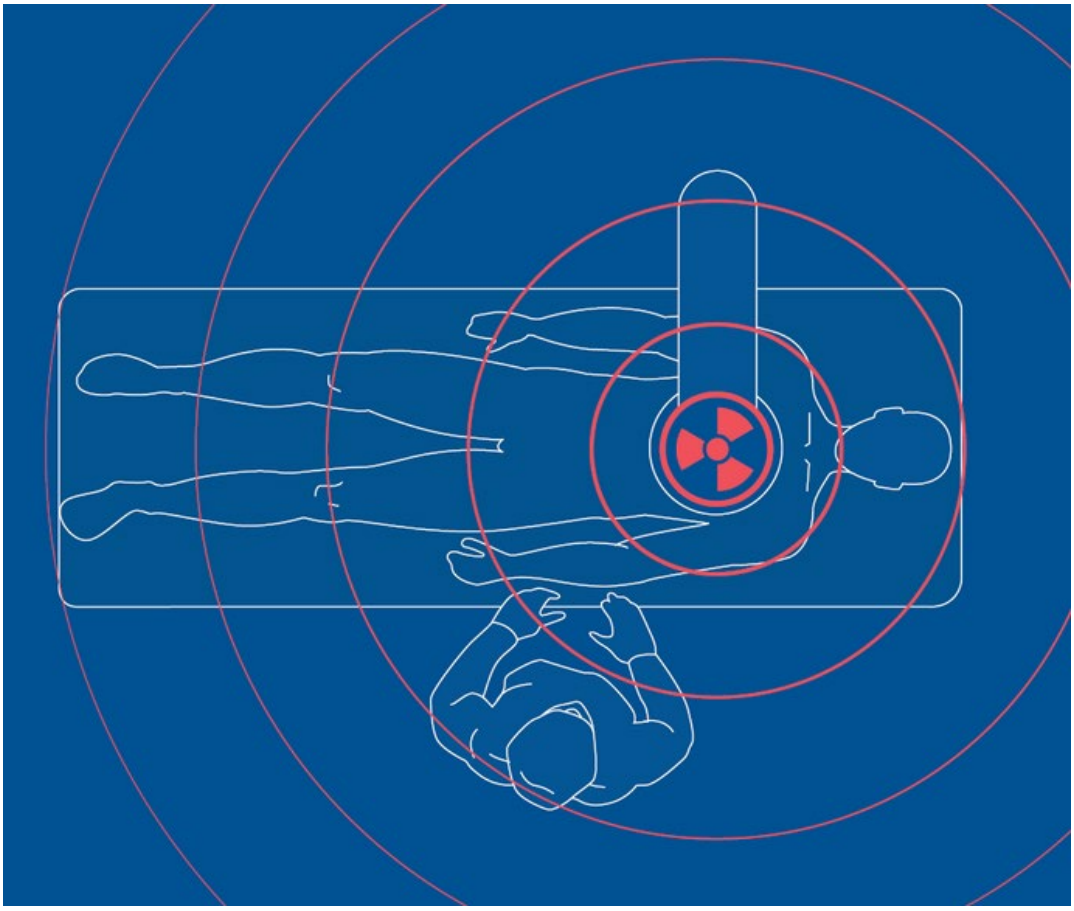
En fluoroscopia, como en toda obtención de imágenes de rayos X, la exposición mínima necesaria para todo tipo de obtención depende de la información específica que se necesita ver o analizar en dicha imagen. Por esta razón, los tiempos requeridos para formar las series de imágenes pueden ser bastante prolongados lo que afecta tanto al paciente como al staff de manera proporcional. Desde el punto de vista de la salud ocupacional, este método requiere la presencia de personal de salud o staff en el mismo ambiente donde se genera la radiación, normalmente una sala de procedimientos.

Ello supone inmediatamente un riesgo de exposición a la radiación secundaria (dispersa Scattering), generado por el propio paciente cada vez que se requiere producir una imagen fluoroscópica.



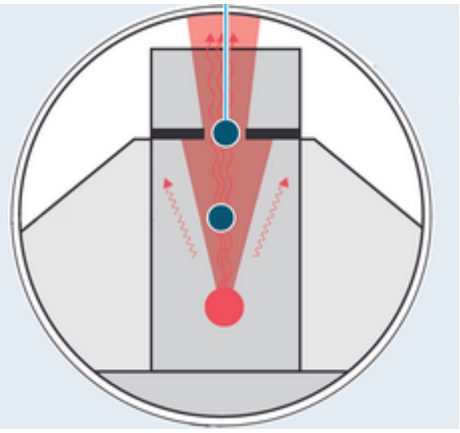
Debemos puntualizar que el número de procedimientos fluoroscópicos realizados anualmente en todo el mundo ha aumentado en los últimos 20 años y en particular aquellos de tipo intervencionista. Los beneficios de la radiología intervencionista en general están fuera de toda duda, pero muchos de estos procedimientos tienen también el potencial de generar dosis de radiación suficientemente altas, como para causar efectos preocupantes en los pacientes como asimismo a los radiólogos intervencionistas.

MIENTRAS MÁS BAJA SEA LA DOSIS AL PACIENTE, MÁS BAJA SERÁ LA DOSIS HACIA EL STAFF.

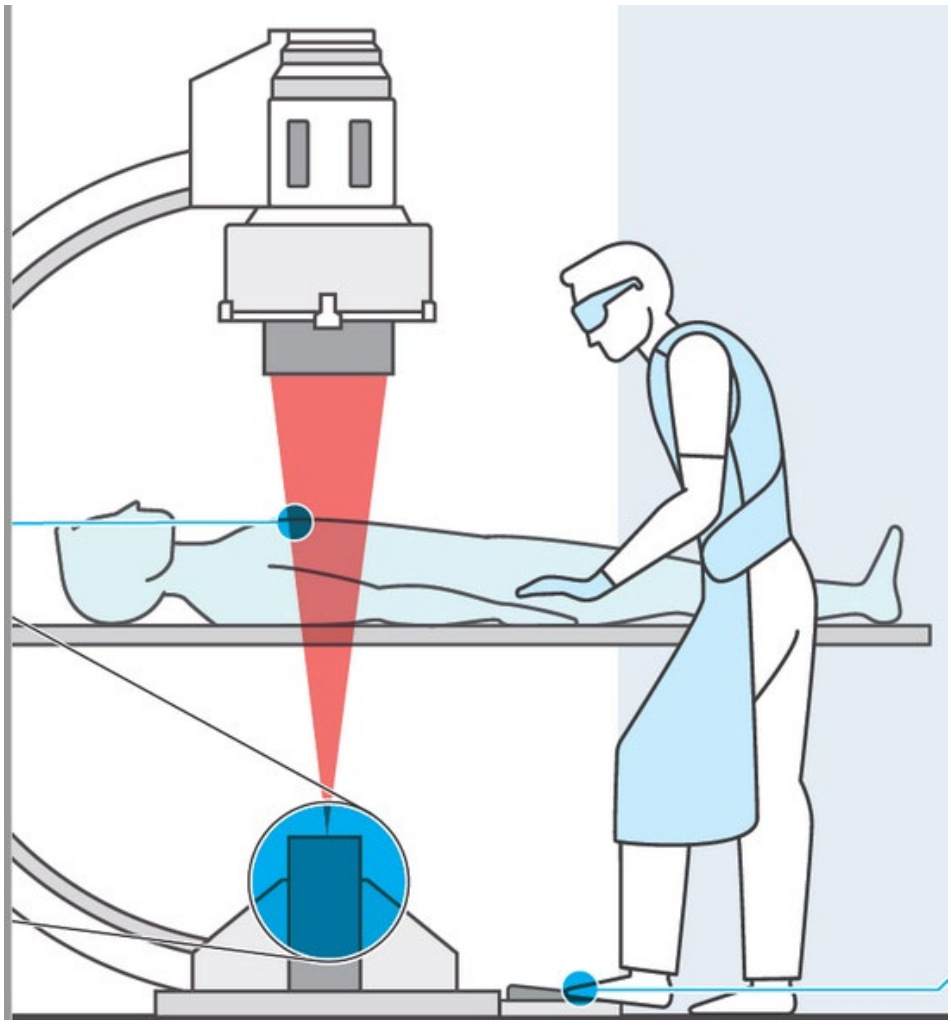


Conceptos básicos del sistema de fluoroscopia

Los fotones generados dentro del tubo de rayos X contienen un espectro de energías. Los fotones de energía más bajos no contribuyen a la formación de la imagen, y por lo tanto se filtran utilizando láminas de aluminio y cobre.



El “haz útil” resultante es colimado mediante aberturas con plomo para salir de la carcasa del tubo al paciente, a cierta distancia. Los fotones entran en el cuerpo, experimentan atenuación (absorción y dispersión en distintos grados por los tejidos), salen del paciente y se detectan formando la imagen necesaria para el diagnóstico, con el contraste y brillo adecuado.

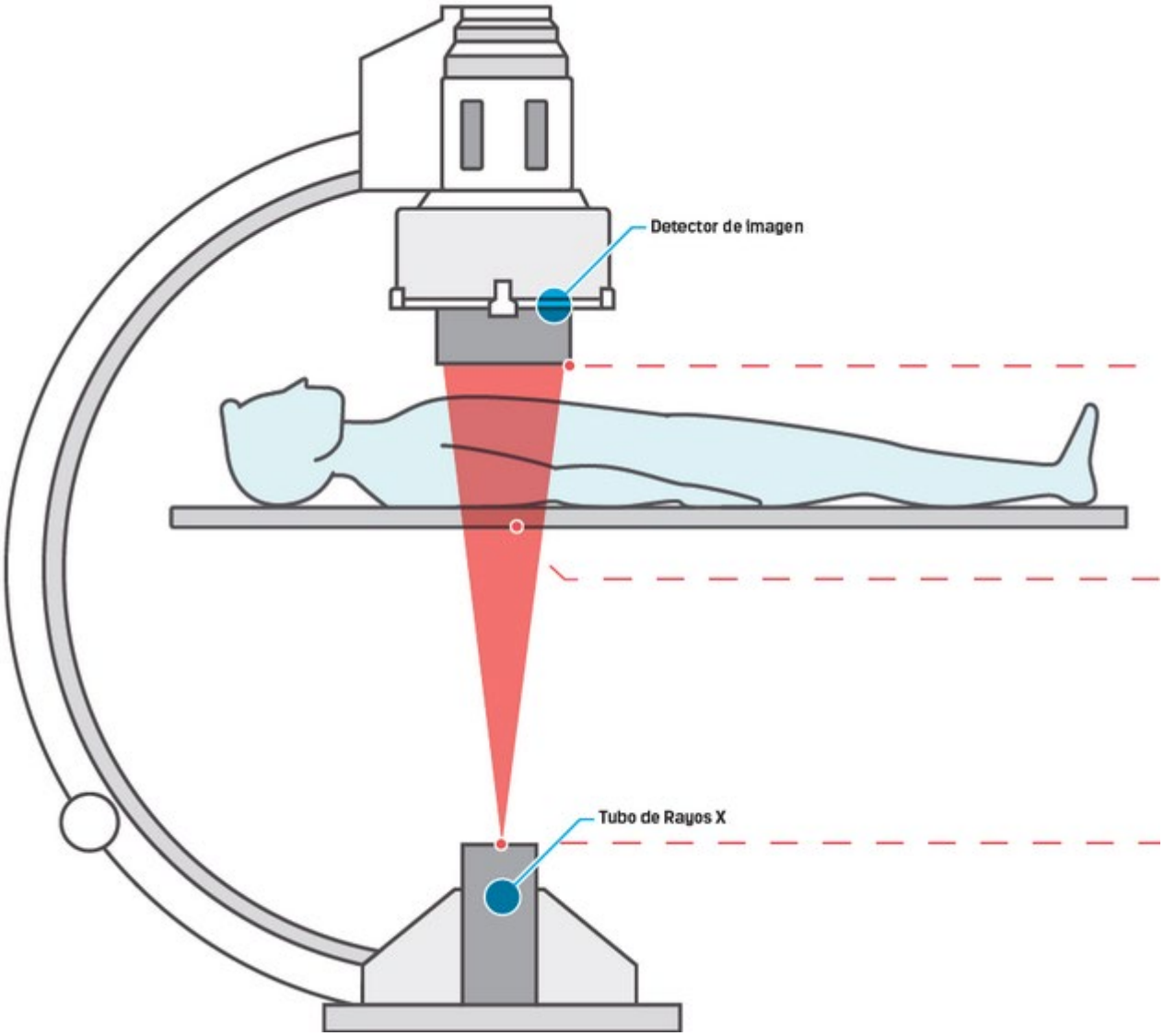


LA ENERGÍA Y LA CANTIDAD DE RAYOS X GENERADOS EN FLUOROSCOPIASON CONTROLADAS PRINCIPALMENTE POR TRES PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO:

- **Kilo voltaje (kV):** Regula principalmente la energía o la penetración de los fotones de Rayos X. Con la energía adecuada proporciona el contraste necesario para la imagen.
- **Corriente del tubo (miliamperes, mA):** Regula el número o cantidad de fotones. Un número adecuado de fotones tiende a disminuir el ruido de imagen y le proporciona el brillo requerido.

- **Duración de la exposición:** Depende del tiempo que se activa dicha exposición mediante un pedal o un interruptor manual, dependiendo si el haz de rayos X es continuo o pulsado. La fluoroscopia pulsada emite y corta el haz de rayos X varias veces por segundo. Una cantidad muy pequeña de los rayos X escapan por los lados de la carcasa del tubo y otra cantidad insignificante atraviesa la barrera formada por el encerramiento metálico del tubo

Diagrama esquemático de un Arco-C



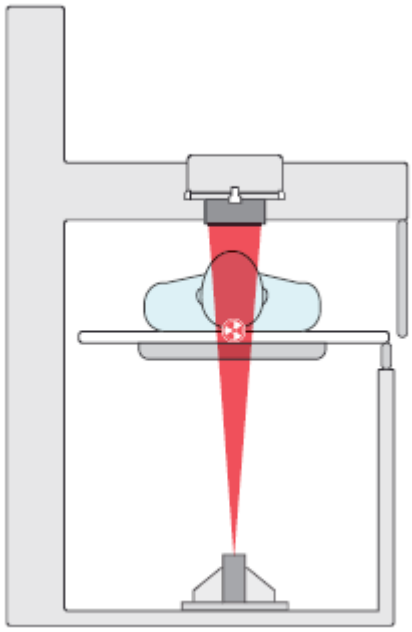
La orientación óptima de una configuración de fluoroscopia se establece con el tubo de rayos X por debajo de la camilla del paciente y con el sistema de detección sobre él, generalmente un intensificador de imagen o un detector digital de panel plano.

La distancia Fuente-Imagen (SID) es la distancia entre el punto focal y la superficie del receptor de imagen. La SID se fija en Arco-C móviles a 100 cm. El Arco-C es capaz de girar alrededor de su isocentro. La dosis de radiación aumenta con el cuadrado de inverso de la distancia (la ley del cuadrado inverso).

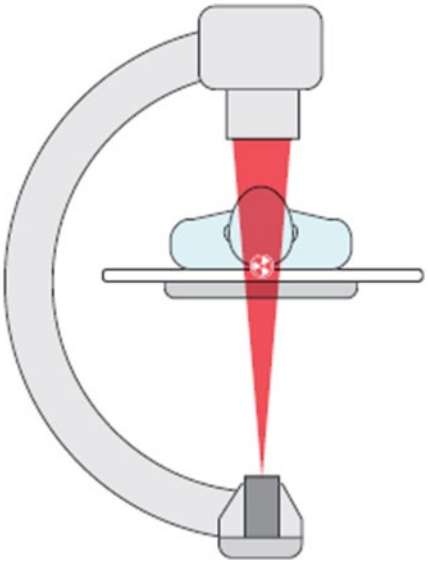
La distancia Fuente-Piel (SSD) se mide desde el punto focal del tubo de rayos X al punto de entrada del haz útil en el paciente.
Por lo tanto, la disminución de la SSD incrementa el riesgo de lesiones de la piel inducida por radiación. La SSD mínima, generalmente permitida en Arco-C, es de 30 cm. Muchos fabricantes proporcionan un espaciador en la carcasa del tubo, que asegura la regla de 30 cm. Este separador no debe ser removido por el usuario.

En las instalaciones de radiografía y fluoroscopia (R y F), la altura de la mesa no puede ser cambiada con respecto al tubo de rayos X. En instalaciones con Arco-C fijos, como en pabellón de cateterismo cardíaco, de procedimientos especiales o vascular, existen sistemas de imágenes que se mueven independientemente del tubo, proporcionando una distancia SID variable en el rango de 90 a 120 cm o más. Esta capacidad le permite al médico elevar el detector de imágenes cuando se necesita espacio para llevar a cabo un procedimiento.
En fluoroscopia toda la superficie de la piel correspondiente a la anchura del haz útil se irradia uniformemente por la rotación del tubo de rayos X.

Características más destacadas de diferentes sistemas de fluoroscopia

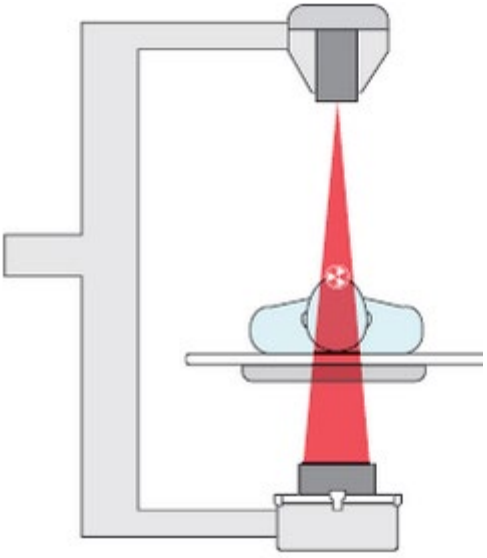


Instalaciones R&F: Tubo fijo bajo mesa, SSD fijo a 38 cm, con sistema detector móvil para proveer SID variable.

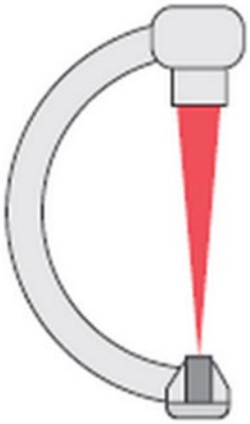


Arco-C portátil: Tubo y Detector de imagen se mueven en tándem, SID=100 cm. La SSD. depende de la ubicación del paciente y su grosor. El punto de entrada de dosis en piel generalmente se asume a 30 cm de la superficie de entrada del detector.

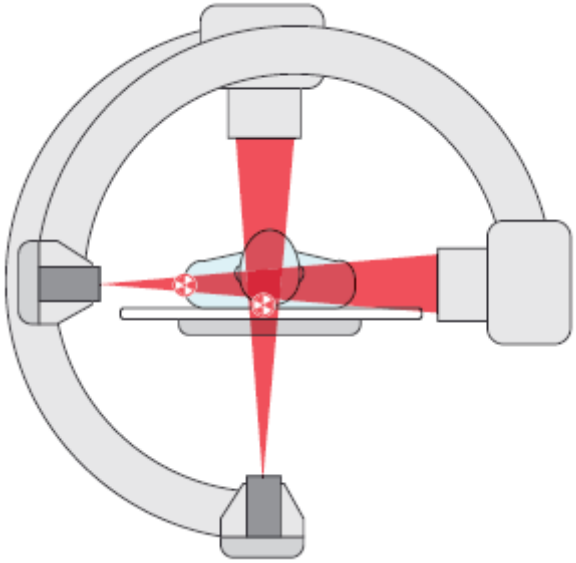
Fluoroscopia: El tubo rota 360° alrededor del paciente



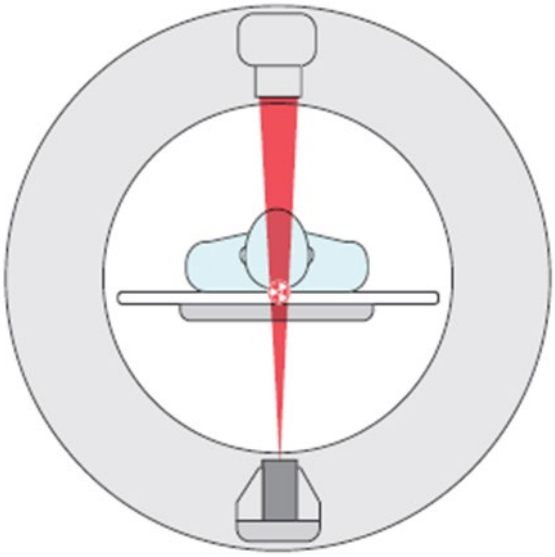
Fluoroscopia con tubo sobremesa (para salas de cistografía): SID fijo (100 cm); La SSD depende del grosor del paciente, generalmente se asume a 30 cm encima de la mesa.



Mini Arco-C: Se utiliza generalmente con el intensificador de imagen como mesa. La SID fija a 45 cm. Recomendado sólo para imágenes de extremidades.



Arco-C fijo, Instalación Biplano: La SID variable, 90-120 cm. Los pacientes a menudo posicionados en el isocentro para permitir la rotación de la imagen en 3D en las unidades planas individuales.



Arco-O Portátil: Combina la funcionalidad del Arco-C y Fluoroscopia CT.

Controles operacionales

La fluoroscopia se lleva a cabo generalmente en el modo de AERC (Tasa de Control de Exposición Automática), donde el sistema de Control Automático del Brillo (ABC) asegura un contraste de imagen y brillo adecuado, ajustando constantemente el kV y mA al cambiar el espesor y composición corporal. Los sistemas más avanzados también seleccionan la duración de cada pulso (ancho de pulso en milisegundos), así como el espesor y la composición de los filtros de la porción más energética del haz. Tamaños más grandes de pacientes demandan mayor kV y mA para producir una imagen aceptable, lo que aumenta la dosis de entrada de la piel del paciente.

Imágenes laterales u oblicuas también requieren factores de técnica ligeramente más altos en comparación con imágenes AP o PA. Los fabricantes actualmente ofrecen varios modos de funcionamiento para el usuario. Mientras la fluoroscopia "normal" produce una imagen estándar, muchos portátiles de Arco-C tienen un modo de refuerzo (boost) OHLC (Control Opcional de Alto Nivel) que aumenta el mA, lo que disminuye el ruido y hace que la imagen aparezca más brillante.

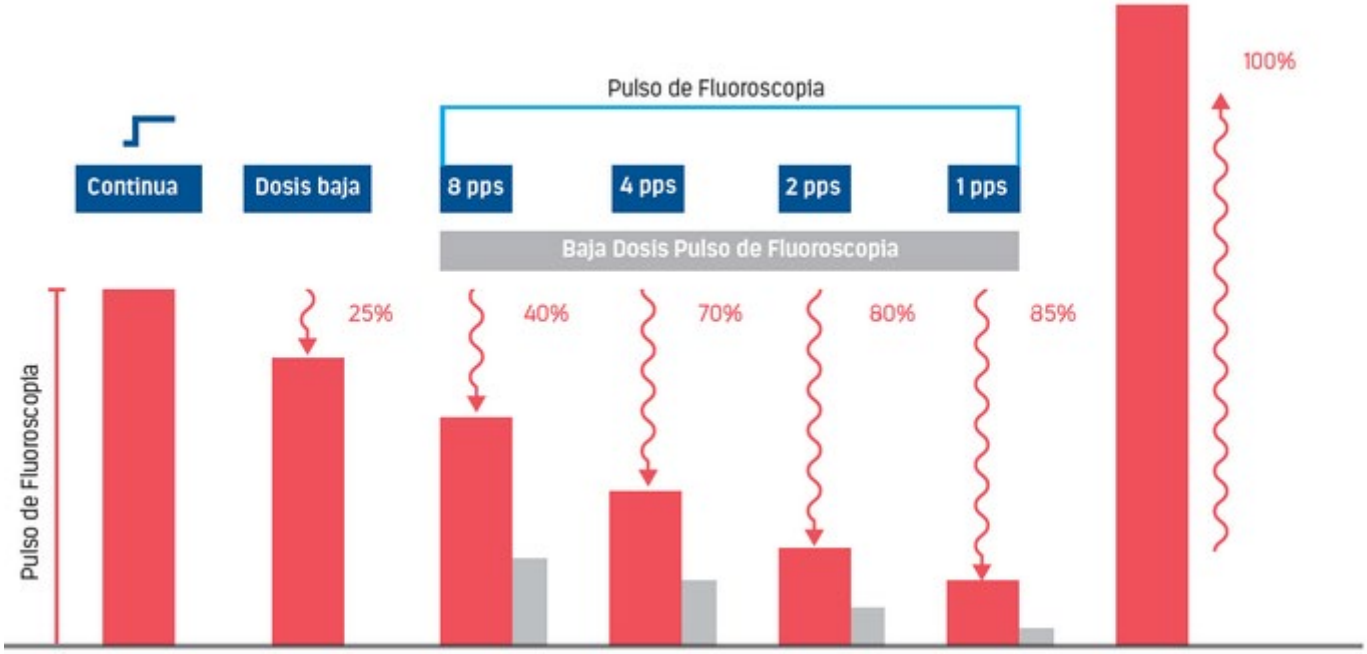
Sin embargo, esta mejora en la calidad de la imagen trae como consecuencia un aumento de la dosis hasta dos veces mayor que la fluoroscopia normal. El modo de refuerzo (boost) tiene un pedal independiente y su activación requiere una alarma audible distinta. El usuario también puede tener la capacidad de seleccionar los modos continuo, pulsado y bajas dosis.

Iconos comunes usados para diferentes modos de operación

Aunque la mayoría de Arco-C portátiles ofrecen exposiciones individuales registradas como imágenes radiográficas, algunos también ofrecen la modalidad Cine (grabación de vídeo).
Las dosis de Cine en Arco-C fijo pueden alcanzar hasta 100 veces la de la fluoroscopia común

La mayoría de los Arco-C marca GE- OEC tienen 1, 2, 4 y 8 pps (pulsos por segundo), así como opciones de bajas dosis. Muchos Arco-C marca Philips tienen opciones de dosis media y cuartos de dosis, además de fluoroscopia pulsada. Estos modos generan dosis muy reducidas, y se recomiendan para la imagen estática. La desventaja es que, con muy bajas tasas de pulso, un ligero parpadeo en la imagen puede ser evidente, disminuyendo su utilidad cuando se están supervisando los procesos dinámicos.

Todas estas opciones pueden ser utilizadas tanto en fluoroscopia normal y de refuerzo.



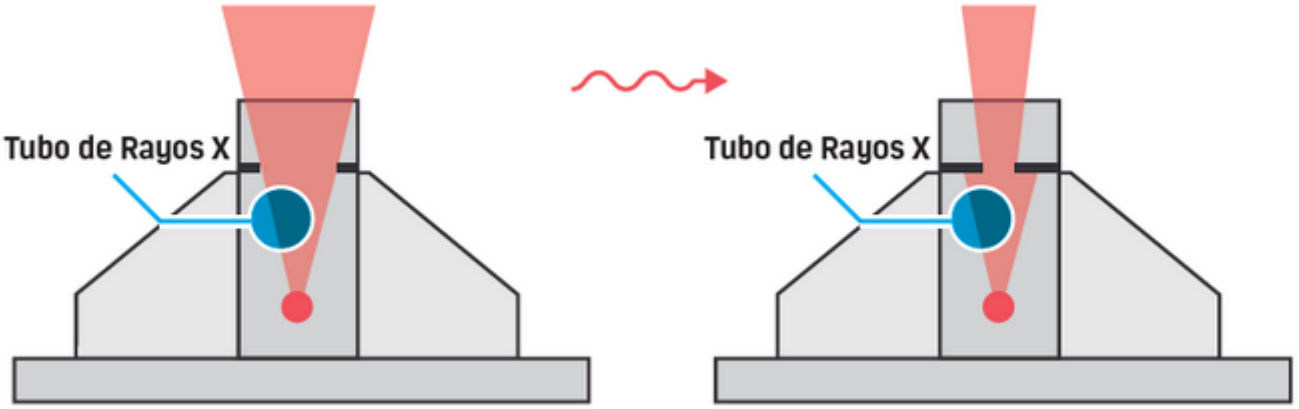
Comparación de dosis bajo diferentes modos de operación en un típico Arco-C portátil

Las dosis en Cine, en Arco-C portátiles, aumentan cerca de tres veces la dosis comparada con la fluoroscopia normal. En instalaciones de Arco en C fijo, como pabellones de cateterismo cardíaco, existen más modos pulsantes de fluoroscopia, que van desde 1 a 30 pps, tanto para exploraciones comunes (sin grabación) como para adquisición de Cine. La mayoría de las instalaciones encuentran aceptable para la gran mayoría de sus estudios emitir dosis bajas de 7,5 o 15 pps. Los modos de Cine suelen ser tratados como tramas por segundo (fps, del inglés "frames per second") para diferenciarlos de fluoroscopia pulsada en pulsos por segundo (pps).

Los equipos de fluoroscopia también vienen equipados con capacidades de magnificación de la imagen. Campos de imagen más pequeños (FOV), comúnmente llamados "imagen magnificada", permiten una mejor visualización de las estructuras pequeñas, pero dan lugar a dosis más elevadas en comparación con el campo "abierto".

Por ejemplo, disminuyendo el tamaño de campo de 30 cm a 12 cm aumenta la dosis de 1,5 a 3 veces. Los colimadores, que permiten al usuario disminuir el campo visual hacia el área de interés, consiguen eliminar órganos no esenciales de la imagen observada.

Una colimación estrecha disminuye el volumen irradiado del paciente, reduce la dispersión interna, mejora la calidad de imagen y consigue una reducción de la dosis efectiva del paciente, y por lo tanto del staff.



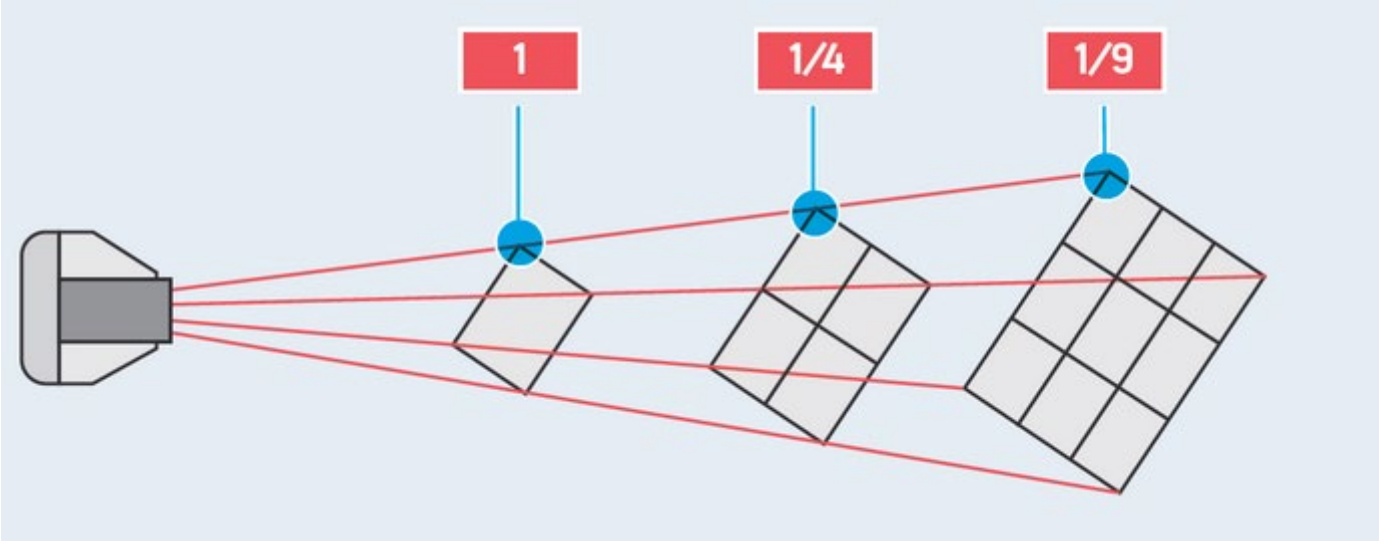
Otro forma de control es la alarma audible al operador, que se activa cada cinco minutos de uso de radiación (o menos, si se ha programado), para recordar periódicamente la optimización de la dosis de radiación que se está administrando.

La alarma se pone a cero al comienzo del procedimiento y se puede restablecer manualmente después de cada intervalo de cinco minutos, de ser necesario. Equipos más modernos tienen una pantalla en vivo del tiempo de irradiación, visible para el operador.
Tubo de Rayos X Tubo de Rayos X Una colimación estrecha disminuye el volumen irradiado del paciente, reduce la dispersión interna, mejora la calidad de imagen y consigue una reducción de la dosis efectiva del paciente, y por lo tanto del staff.

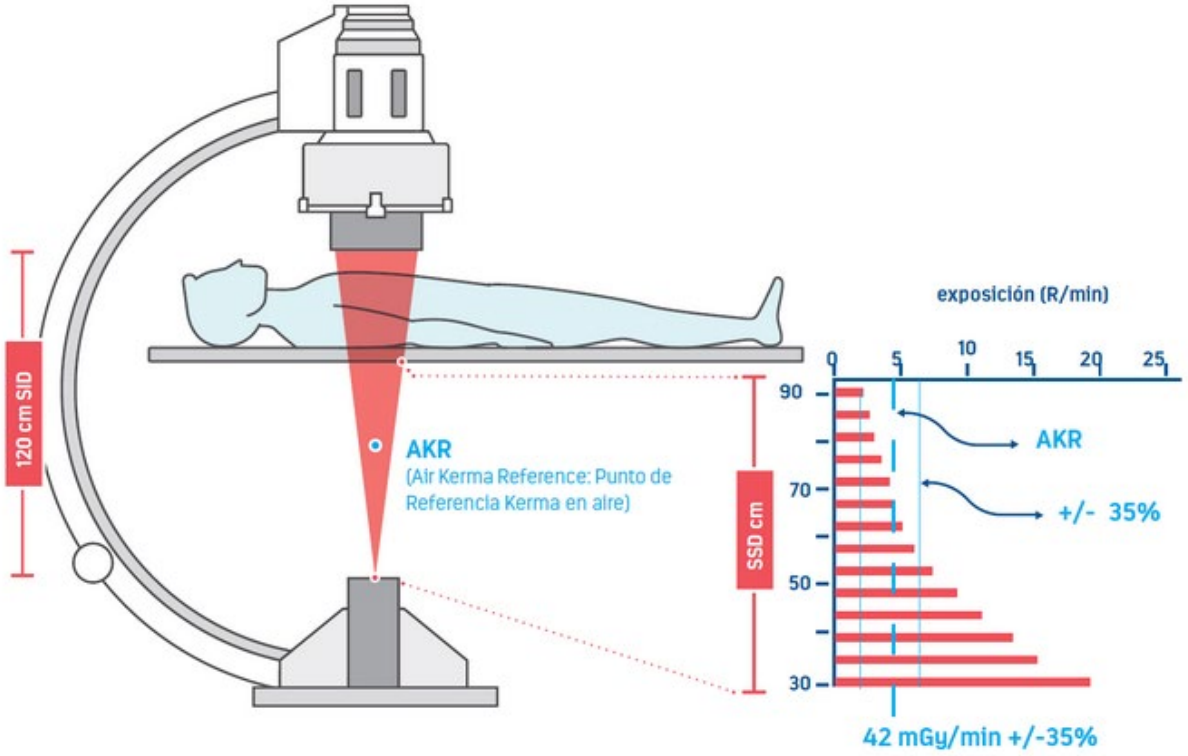
Influencia de la distancia sobre la dosis de radiación

Cuando una persona se aleja de la fuente de emisión de radiación su dosis disminuye en función del cuadrado de la distancia, y viceversa. Esta "ley del cuadrado inverso" significa que si, por ejemplo, se duplica la distancia a la fuente de radiación, la dosis se reduce en un factor de cuatro. Si la distancia se triplica, la dosis disminuye por un factor de nueve. Por lo tanto, la ubicación de un Arco-C en relación con el paciente tiene importantes implicancias en la dosis de entrada de su piel. Para una distancia Fuente-Imagen de 120 cm (SID =120 cm) mover al paciente hacia abajo desde 90 cm hasta 30 cm aumenta la dosis en un factor de 9.

Ley del cuadrado inverso



Ejemplo de ley del inverso del cuadrado

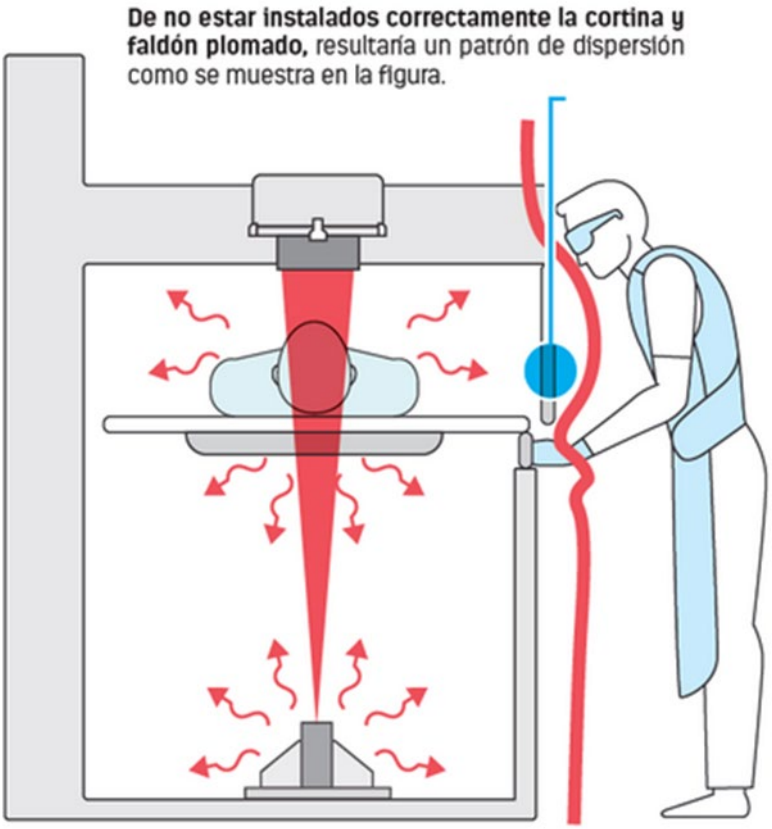


Asumiendo una exposición de entrada en piel de 2,5 R/min a 30 cm de la superficie de entrada del conjunto de formación de imágenes (detector), aumenta nueve veces, o sea, 22,5 R/min cuando la SSD se reduce de 90 a 30 cm. El AKR mostrado que refleja la dosis a 15 cm por debajo de isocentro se mantiene constante a 42 +/- mGy/min. El patrón de este aumento se asemeja a una curva exponencial, con los mayores incrementos sucediendo cuanto está más cerca al tubo de rayos x. En el ejemplo, si el punto de referencia AK de este sistema está a 15 cm del isocentro, la dosis sería 42 mGy/min con un intervalo

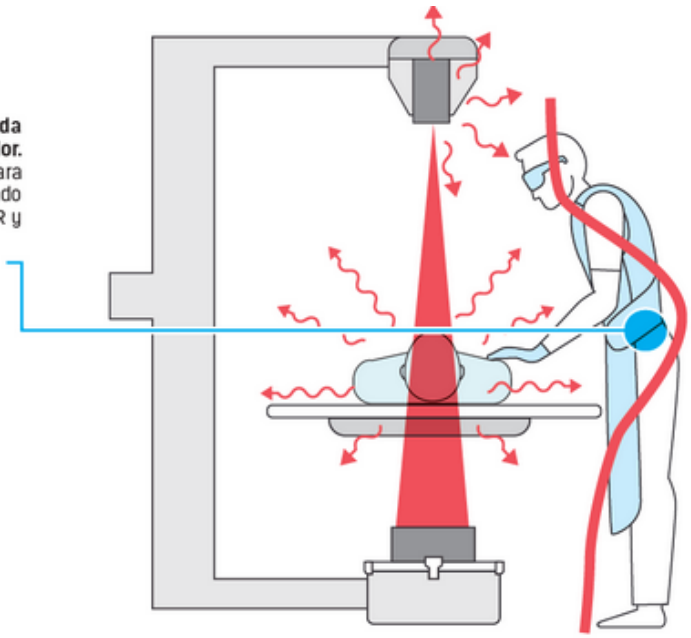
permisible de 35 %, 27 a 57 mGy/min. Se debe considerar que la exposición de 4,8 R/min en esa ubicación se convirtió al kerma aire en mGy/min. Para un paciente colocado a una SSD de 90 cm, la dosis mostrada sería 42 mGy/min, lo que representa una sobreestimación de la verdadera kerma en aire (22 mGy/min) por un factor de 1,2 a 2,6. Para un paciente colocado a una SSD de 30 cm (kerma verdadero en aire de 198 mGy/min), la dosis sería otra vez 42 mGy/min, subestimando la dosis verdadera por un factor de 3,5 a 7,3. Esto pone de relieve la importancia de maximizar la distancia Fuente-Piel.

Herramientas de protección radiológica operacional

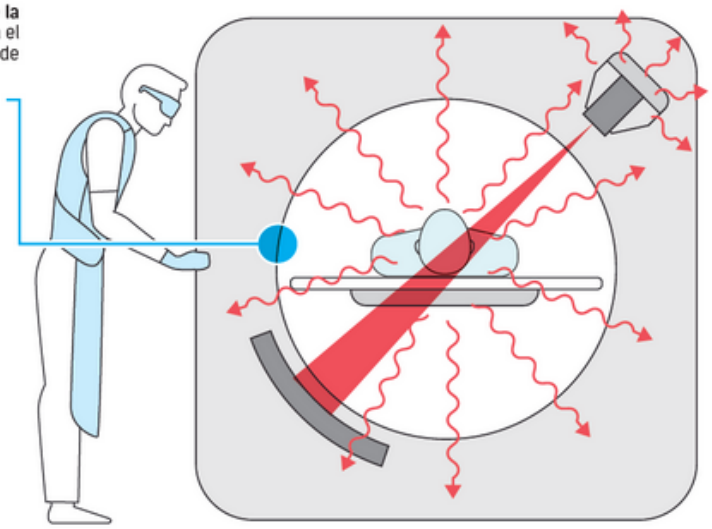
Como hemos visto, la mayor fuente de exposición a la radiación para el operador y el personal es la dispersión del paciente. El control de la dosis reduce la dispersión y la exposición del operador. Sin embargo, la radiación existente durante el procedimiento en el lugar de trabajo demanda el uso de herramientas de protección para limitarla a un nivel aceptable sin obstaculizar el procedimiento. Una regla practica y útil en radiología dice que la radiación dispersa a un metro de un paciente es una milésima (es decir, 0,1 %) de la exposición de entrada en la piel del paciente. Las tasas de dispersión típicas medidas aproximadamente a 30 cm del paciente bajo un arco en C son:



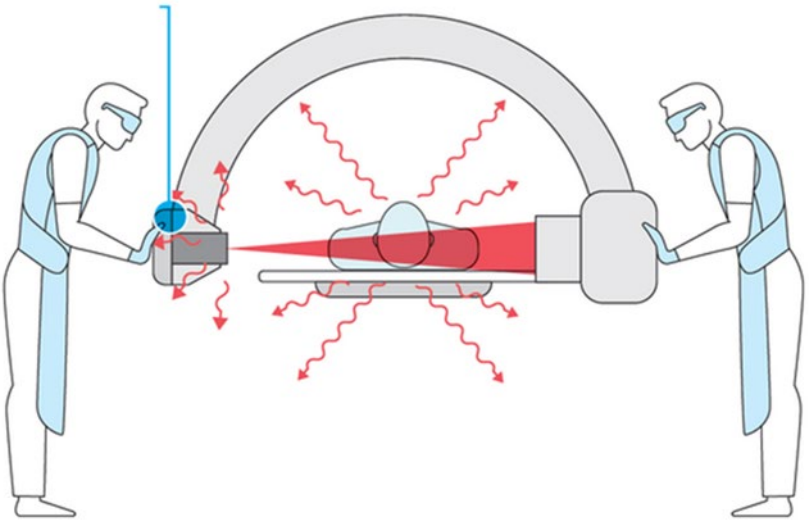
la mayor parte de la dispersión está dirigida hacia la parte superior del cuerpo del operador. Se debe considerar un protector de tiroides para los procedimientos prolongados. Se ha demostrado que la radiación es muy baja en una instalación R y F (digestivos).



la radiación dispersa es máxima en la unión de la camilla de paciente y el pórtico, donde se ubica el operador normalmente. Se recomienda el uso de protector de tiroides.



Un operador de pie en el lado del tubo recibiría aproximadamente cinco veces más radiación que un operador en el lado del detector de imágenes. Ubicando el tubo sobre la cabeza.



Blindajes

Para hacer frente a estos riesgos, se identifican tres tipos de protección: blindaje estructural, blindajes asociados a equipos y los elementos de protección personal.

Blindajes Estructurales: Son construidos en las paredes de la sala de procedimiento. Además, biombos portátiles y fijos afianzados sobre el piso son útiles para proporcionar blindaje adicional. Son hechos de plástico plomado transparente y están particularmente adaptados para que sean utilizados por enfermeras y personal de anestesia.

Blindaje asociados a equipo: Incluyen cortinas protectoras suspendidas de la camilla y pantallas colgantes del techo. La cortinas que cuelgan del lado de la camilla del paciente, entre el tubo de debajo de la mesa de rayos X y el operador, siempre deben ser empleadas, ya que se ha demostrado que reducen sustancialmente la dosis hacia el operador.

Desafortunadamente, a veces no se pueden utilizar cuando el Arco-C está en una proyección oblicua o posición lateral. Las pantallas suspendidas del techo, por lo general son construidas de un material plástico transparente con contenido de plomo, que le proporciona excelentes características de atenuación a la radiación dispersa.
Deben utilizarse necesariamente en procedimientos prolongados.

Cuando se usan correctamente han demostrado reducir drásticamente la dosis ocular al operador. Actualmente se cree que el umbral de dosis para la formación de cataratas se puede alcanzar en algunos años por un trabajador que realiza una actividad moderada, pero reiterada.

Se han reportado lesiones al cristalino en operadores que trabajaban en pabellones sin pantallas de techo y en procedimientos intervencionistas complejos. Recientemente han salido al mercado cobertores protectores desechables, que contienen elementos metálicos (bismuto o antimonio-tungsteno) para ser colocados en el paciente después de preparar y cubrir el lugar de la operación. Estudios recientes han demostrado que reducen la dosis hacia el operador sustancialmente a 12 veces para los ojos, 26 veces para tiroides y 29 veces para las manos. Aunque su utilización añade costos para el procedimiento, estos cobertores desechables son una excelente opción para procedimientos complejos y para aquellos en los que las manos del operador deben estar cerca del campo de radiación (por ejemplo, manipulación de fístulas de diálisis e injertos, intervenciones genitourinario y biliar).

Elementos de protección personal: Los elementos de protección personal incluyen delantales plomados, protectores de tiroides, anteojos y guantes.

Delantales plomados. Los delantales con protección de tiroides son la principal herramienta de protección contra radiaciones para trabajadores intervencionistas. Muchas veces se prefiere la configuración de chaleco/falda con el fin de reducir riesgos músculo esqueléticos en la espalda. El tipo envolvente es, comúnmente, de 0,25 mm de plomo equivalente y se usa traslapado. Cuando se pone el doble espesor anterior proporciona 0,5 mm de equivalencia de plomo para el tórax. Los operadores y el personal que trabajan regularmente en el laboratorio intervencionista deben contar con delantales que calcen correctamente con su talla, tanto para reducir peligros ergonómicos como para proporcionar una óptima protección contra la radiación. Además, deben ser inspeccionados anualmente para detectar posibles deterioros y defectos en el material protector mediante fluoroscopia.

Anteojos plomados. Debido a que el límite actual de exposición ocupacional ICRP para los ojos es de 150 mSv /año puede ser demasiado alto y que la formación de cataratas inducidas por radiación puede ser un efecto estocástico, se recomienda encarecidamente a los operadores usar protección para los ojos en todo momento. Los anteojos plomados son una alternativa cuando no se dispone de pantallas plomadas colgantes de techo. De preferencia, se deben usar anteojos plomados grandes con protección lateral.

Guantes. En general, las manos del operador se mantienen fuera del haz primario de radiación, sin embargo, en ciertas ocasiones esto no es posible. Cuando ocurre se genera un aumento de la dosis, ya que el equipo lo interpreta como un aumento en la densidad de la estructura que se está observando. Considerando que las dosis en extremidades ponderan 10 veces la dosis a cuerpo completo, los guantes de plomo no se recomiendan en esta situación. Pueden ser útiles solo si las manos del operador están cerca, pero no en el haz primario de radiación. Estos elementos no son estériles y no es posible usarlos en trabajo quirúrgico. Existen guantes estériles desechables con atenuación a radiación hechos de óxido de bismuto o tungsteno, que proporcionan un pequeño grado de atenuación, pudiéndose usar solamente para la protección contra la radiación dispersa y no para el haz directo.

Distancia. juega un rol importante en la atenuación de la radiación. Personal auxiliar que se ubica en la cabeza o el pie de la mesa del paciente suele recibir un nivel de radiación dispersa casi insignificante. Gracias a una combinación de la distancia y la auto absorción de la radiación dispersa a lo largo del eje cabeza-pie del paciente. La radiación dispersa cae a niveles muy bajos 2,5 a 3 metros del haz útil, excepto durante modo Cine. Durante la fluoroscopia TC, el personal del pabellón que no requiere estar junto a la camilla debe permanecer inmediatamente detrás del gantry, en la medida posible.

La radiación dispersa es mucho más baja allí debido a la atenuación de sus componentes. Del mismo modo, durante la rotación 3D de un Arco-O, la dispersión es mínima detrás de la unidad de control. Sin embargo, se recomienda de igual forma que todo el personal en el pabellón se proteja con un delantal plomado durante las exposiciones de rayos x.

Tiempo. constituye la tercera herramienta de la protección radiológica. En términos prácticos, el uso de fluoroscopia pulsada en vez de la exposición continua y la práctica juiciosa de ver la imagen de la trama congelada en lugar de hacerlo en directo disminuye la dosis del paciente, así como la dispersión hacia el staff.

Terminología:

Staff: Conjunto de profesionales, especialistas y personal de apoyo médico que participa en un procedimiento en un pabellón donde se utiliza un equipo de fluoroscopia.

Radiación Secundaria, Dispersa o Scattering: Es la radiación que genera el paciente a su entorno como consecuencia de recibir un haz de radiación primario, que se requiere para la formación de la imagen.

Ruido de imagen: Es la incertidumbre o imprecisión en el registro de una señal que se produce por diferentes causas, como la baja cantidad de fotones de rayos X, interferencias electrónicas en el sistema de formación de imagen, entre otras.

SSD: "Source-Skin-Distance", que significa Distancia Fuente-Piel (del paciente).

SID: "Source-Image-Distance", que significa "Distancia Fuente a sistema detector de imagen".

Isocentro: Es el punto en el espacio donde convergen los haces de radiación primarios cuando el arco del equipo de fluoroscopia está efectuando una rotación.

Gray (Gy): Unidad en el Sistema Internacional (S.I.) de dosis absorbida (1 Gy = 100 rad).

RAD: Unidad en el sistema antiguo de dosis absorbida. Un RAD es igual a 0,01 Gray.

Sievert (Sv): Unidad en el Sistema Internacional de dosis equivalente (1 Sv=100 rem).

REM: Unidad en el sistema antiguo de dosis equivalente. Un rem es igual a 0,01 Sv.

Dosis típicas en fluoroscopia

Un Arco-C portátil moderno entregará exposiciones de entrada de la piel en el intervalo de 0,5 a 1 R/min para un paciente de tamaño promedio, posicionado cerca del conjunto de visualización para el tamaño de campo abierto en el modo normal de fluoroscopia continua. Esta exposición se traduce en kerma en aire de 4.4 a 8.8 mGy /min.

La dosis administrada será aproximadamente el doble cuando de fluoro normal se cambie al modo de magnificación. Un paciente de gran tamaño generará exposiciones correspondientes a 1.5 a 2 R/min (aprox. 13 a 18 años mGy / min).

Sistemas de Arco-C fijo en modo pulsado suelen funcionar a baja dosis con 7,5 o 15 pps. La mayoría actualmente cuenta con detectores digitales, por lo tanto, para un paciente de tamaño promedio posicionado cerca del montaje de formación de imágenes, las imágenes se pueden lograr con dosis inferiores a 1 R/min, aumentando en alrededor del 25% si el paciente se coloca en el isocentro. Las dosis correspondientes en modo Cine pueden promediar alrededor de 10 a 25 R/min, o ser tan altas como 100 R/min dependiendo de la tasa de imágenes y el posicionamiento del paciente.

En sistemas R y F, las exposiciones de entrada de la piel generalmente oscilan alrededor de 2.3 R/min para un paciente de tamaño medio, con tasas más bajas para los sistemas digitales más nuevos que funcionan en modo pulsado. Un mini Arco-C entrega dosis mucho menores a las extremidades debido a que operan con corrientes y voltajes del tubo inferiores. Exposiciones de entrada de la piel son alrededor de 0,5 R/min. La FluoroscopiaCT entrega 5 a 7 R/min o más, incluso cuando se utilizan factores de técnica razonables. Un Arco-O genera exposiciones de entrada de la piel comparables con las de un Arco-C durante exposiciones 2D.

Características y riesgos de la fluoroscopia

Los riesgos de la exposición a la radiación médica se pueden agrupar en dos componentes:
Riesgo Estocástico: Representa la probabilidad de incidencia de cáncer. Se asume que este riesgo no tiene una dosis umbral, aumenta linealmente con el aumento de la dosis. También aumenta con la disminución de la edad en el momento de la exposición y es acumulativa. Sin embargo, para las dosis efectivas por debajo de 100 mSv (10 rem), un intento de calcular el riesgo estocástico es en gran medida un ejercicio teórico, sin evidencia de apoyo. La gran mayoría de los procedimientos de diagnóstico, incluyendo la radiografía general y fluoroscopia, da lugar a dosis muy por debajo 10 mSv. Algunas tomografías computarizadas y procedimientos de medicina nuclear presentan dosis entre 10 y 100 mSv. Por lo tanto, el riesgo estocástico sólo llega a ser significativo para los pacientes de los grupos de edad más jóvenes que han tenido múltiples procedimientos de alta dosis, e incluso en estos casos, se espera que los beneficios del procedimiento compensen cualquier riesgo potencial.

Riesgo Determinista: Representa la respuesta inmediata del tejido o brevemente retardada a la radiación. Las lesiones deterministas aumentan en severidad al aumentar la dosis. Los efectos se incrementan lineal o no linealmente con la dosis y tienen una dosis umbral por debajo de la cual no se observan daños; además, no son acumulativos. Los ejemplos incluyen quemaduras en la piel y pérdida de cabello. No hay diferencia en la sensibilidad de la piel entre hombres y mujeres. Los niños y los ancianos son más susceptibles debido a su piel delicada. Los niños y los ancianos son más susceptibles debido a su piel delicada.

Los riesgos de los procedimientos de fluoroscopia de altas dosis son más deterministas que estocásticos. Se cree que el umbral de la lesión de la piel sea de 2 Gy (2.000 mGy o 200 rad), sin ser evidentes de inmediato. Aparte de los síntomas más leves, como el eritema transitorio, los efectos de la radiación pueden no aparecer hasta semanas después de la exposición, cuando el médico fluoroscopista ya ha perdido el contacto con el paciente.

La primera manifestación de la lesión de la piel es el eritema transitorio temprano, que aparece tras varias horas, alcanza su máximo en aproximadamente 24 horas y se desvanece en días. Un Arco-C- portátil, con el paciente colocado cerca del conjunto de visualización, requiere alrededor de 150 minutos de haz bajo fluoro normal para cruzar este umbral de 2 Gy, a una exposición de entrada de 1,5 R/min en un paciente tamaño promedio. La epiliación temporal se produce alrededor de 3 Gy (300 rad) de dosis a la piel.

En dosis superiores a 6 Gy (600 rad), el eritema suele aparecer a los 10 días, se acrecienta en dos semanas, y desaparece alrededor de cuatro semanas después de la irradiación. La depilación permanente se producirá con dosis un poco más altas, alrededor de 7.8 Gy. En el caso de un Arco-C fijo con un paciente obeso posicionado en el isocentro y experimentando 5 R/min de exposición de la piel, la dosis umbral de 2 Gy será alcanzada a los 45 min de exposición, y 7 Gy en 160 min. Si en lugar de fluoroscopia se utiliza Cine, los tiempos anteriores serían de 11 min y de 40 min, respectivamente. Para exposiciones más altas, las lesiones relacionadas con las radiaciones pueden continuar progresando con efectos más graves muchos meses después, Sin embargo, este tipo de lesiones se produce muy raramente debido a que requieren varias horas de tiempo de exposición.

EFECTO	UMBRAL TÍPICO		TIEMPO PARA EL EFECTO
	Gy	- Rad	
Eritema temprano transitorio	2	2200	Horas
Depilacion temporal	3	300	3 semanas
Eritema Principal	6	600	10 días
Depilacion permanente	7	700	3 semanas
Descamacion seca	10	1000	4 semanas
Fibrosis invasiva	10	1000	
Atrofia dermica	11	1100	› 14 semanas
Telangiectasis	12	1200	› 52 semanas
Descamacion húmeda	15	1500	4 semanas
Ertema tardío	15	1500	6 - 10 semanas
Necrosis dermica	18	1800	› 10 semanas
Ulceracion secundaria	20	2000	› 6 semanas

Lesiones a la piel inducidas por radiación

A pesar de estas implicaciones de dosis de radiación, los procedimientos de fluoroscopia intervencionistas son la alternativa preferida a los procedimientos quirúrgicos invasivos. La probabilidad de lesiones en la piel debe considerarse como una alternativa razonable frente a semanas o meses de recuperación de una cirugía invasiva. En este sentido, para los procedimientos de altas dosis, las reacciones cutáneas inducidas por la radiación deben ser incluidas en la lista de posibles complicaciones en los formularios de consentimiento de los pacientes. Además, las exposiciones a radiación en exámenes anteriores también pueden contribuir al daño y deberá considerarse al planear los procedimientos.

Nótese que, en la discusión anterior, los riesgos estocásticos se citan en unidades de mSv y mrem, porque son las dosis efectivas. Los efectos deterministas se expresan en mGy y mrad porque representan dosis en órganos (piel).

Xavier Pardell